

## IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No.: To Be Assigned  
Applicant: Kunihiro Nakamura et al.  
Filed: Herewith  
Title: VARIABLE CAPACITOR AND METHOD FOR  
MANUFACTURING SAME

TC/A.U.: To Be Assigned  
Examiner: To Be Assigned  
Confirmation No.: To Be Assigned  
Docket No.: MAT-8441US

**CLAIM TO RIGHT OF PRIORITY*****Mail Stop Patent Application***


Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

S I R :

Pursuant to 35 U.S.C. § 119, Applicants' claim to the benefit of filing of prior Japanese Patent Application No. 2002-221010, filed July 30, 2002, as stated in the inventors' Declaration, is hereby confirmed.

A certified copy of the above-referenced application is enclosed.

Respectfully submitted,



Lawrence E. Ashery, Reg. No. 34,515  
Daniel N. Calder, Reg. 27,424  
Attorneys for Applicants

DNC/fp

Enclosures: (1) Certified Copy

Dated: July 25, 2003

P.O. Box 980  
Valley Forge, PA 19482  
(610) 407-0700

The Commissioner for Patents is hereby authorized to charge payment to Deposit Account No. **18-0350** of any fees associated with this communication.

**EXPRESS MAIL: Mailing Label Number: EV 331 707 707 US**  
**Date of Deposit: July 25, 2003**

I hereby certify that this paper and fee are being deposited, under 37 C.F.R. § 1.10 and with sufficient postage, using the "Express Mail Post Office to Addressee" service of the United States Postal Service on the date indicated above and that the deposit is addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

  
KATHLEEN LIBBY

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 7月30日

出願番号

Application Number:

特願2002-221010

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-221010 ]

出願人

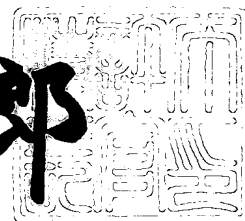
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2003年 4月15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3026882

【書類名】 特許願

【整理番号】 2931040022

【提出日】 平成14年 7月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01H 59/00

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 中村 邦彦

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 中西 淑人

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 清水 紀智

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 内藤 康幸

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変容量素子とその形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可撓性を有する梁と、梁との間にコンデンサを形成するために梁に近接して設置された電極とから構成され、梁と電極間に電圧をかけて梁を静電力で撓ませることで両者間の静電容量を変化させることを特徴とする可変容量素子。

【請求項 2】 撓ませた前記梁と電極とを、少なくとも一方の表面上に形成された絶縁層を介して接触させて接触面積を変化させることで静電容量を変化させることを特徴とする請求項 1 記載の可変容量素子。

【請求項 3】 前記電極が複数個に分割されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の可変容量素子。

【請求項 4】 前記電極の一部が梁の自由端を静電力で吸着して支持することを特徴とした請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の可変容量素子。

【請求項 5】 前記梁の自由端を静電力で支持する電極と梁との距離が、他の電極よりも梁に近接して配置されたことを特徴とする請求項 4 記載の可変容量素子。

【請求項 6】 前記電極の表面が、残留応力を解放して撓んだ状態にある梁の撓み方向および長さ方向に平行であり、電極と対向する梁の側面形状よりも電極形状の方が大きいことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の可変容量素子。

【請求項 7】 基板上に犠牲層を形成するステップと、前記基板全面にスパッタによりパターンを形成するステップと、前記パターンをマスクとしてドライエッチングをして梁を形成するステップと、前記パターンと犠牲層を除去するステップとからなる可変容量素子の形成方法。

【請求項 8】 基板上に第 1 のシリコン酸化膜を形成した後、シリコン窒化膜を堆積するステップと、前記シリコン窒化膜に犠牲層を形成するステップと、前記基板全面にスパッタによりパターンを形成するステップと、前記パターンをマスクとしてドライエッチングをして梁を形成するステップと、前記パターンと犠

性層を除去するステップとからなる可変容量素子の形成方法。

【請求項 9】 基板上に第 1 のシリコン酸化膜を形成した後、シリコン窒化膜を堆積しさらに第 2 のシリコン酸化膜を堆積するステップと、前記第 2 のシリコン酸化膜に犠牲層を形成するステップと、前記基板全面にスパッタによりパターンを形成するステップと、前記パターンをマスクとしてドライエッチングをして梁を形成するステップと、前記パターンと犠牲層を除去するステップとからなる可変容量素子の形成方法。

【請求項 1 0】 前記電極の一部が他の電極表面の高さよりも低い凹部を絶縁層に設け、

凹部の前記梁と他の電極との間に電圧を加え、凹部内部に梁を引き寄せることにより、凹部の一部である段差発生部を支点とした梁の反対部位を電極から離す力を発生させることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の可変容量素子。

【請求項 1 1】 複数個の電極の一部を交流信号ラインとすることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の可変容量素子。

【請求項 1 2】 請求項 1 乃至 6、1 0 のいずれかに記載の可変容量素子を真空封止した可変容量素子。

【請求項 1 3】 請求項 1 乃至 6、1 0、1 1 のいずれかに記載の可変容量素子を利用したスイッチ。

【請求項 1 4】 請求項 1 乃至 6、1 0 乃至 1 2 のいずれかに記載の可変容量素子またはスイッチを利用した高周波回路。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 記載の高周波回路を利用した無線通信装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は機械式の可変容量素子に関し、特に高密度に集積化された電気回路において、小型で高性能、高品質の可変容量素子とその形成方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来の可変容量素子について、可変容量構造を利用した図 1 0 の微小機械スイッチを参照して説明する。図 1 0 は IEEE MTT-S Digest 1999, pp.1923-1926 に紹介されているマイクロ波スイッチである。シリコン片持ち梁 1 の先端下部に絶縁層 5 を介して金の接点部 6 が設けられ、接点部 6 に相対する面には、接点部との接触により閉回路を形成する回路端子部 7 と、接点部 6 に静電力を与えてシリコン片持ち梁 1 を撓ませる駆動電極 8 が設けられている。シリコン片持ち梁の長さは約  $200\text{ }\mu\text{m}$ 、幅は約  $20\text{ }\mu\text{m}$ 、厚みは約  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  である。接点部 6 と回路端子部 7 の隙間は  $10\text{ }\mu\text{m}$  以下に設定されおり、駆動電極 8 に  $50\text{ V}$  以上の電圧を加えることで梁 1 が撓んで接点部 6 が回路端子部 7 に接触し、接点が閉じられる。

## 【 0 0 0 3 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかし、接点を閉じるために必要な電圧が  $50\text{ V}$  以上と高いために、専用の昇圧回路を搭載する必要がある、スイッチ素子の小型化を阻害していた。またシリコン梁先端に形成されているパッドは面積が広いほど上下に駆動するときに雰囲気空気の粘性抵抗を受けて動作が遅くなり、数  $\mu\text{ s}$  レベルの高速スイッチング動作は難しくなる。

## 【 0 0 0 4 】

図 1 1 は低電圧駆動と数  $\mu\text{ s}$  レベルのスイッチング速度を達成できる梁構造である。梁 1 の寸法は幅  $W = 2\text{ }\mu\text{m}$ 、厚さ  $t = 2\text{ }\mu\text{m}$ 、長さ  $L = 500\text{ }\mu\text{m}$  である。梁 1 とは  $0.6\text{ }\mu\text{m}$  の空隙を介して膜厚  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  の絶縁層 5 を表面に形成した電極 2 が基板 4 上に配置されている。梁 1 と電極 2 間に電圧  $V$  を加えると、梁は静電力により  $-z$  方向にたわむ。プルイン電圧（引き込み電圧）以上になると梁の復元力よりも静電力の方が圧倒して力を増すため、梁 1 は絶縁層 5 上に急激に吸着される。さらに電圧を上げると梁 1 は絶縁層 5 との接触面積を増やしながらいずれ梁-電極間の容量を漸増させる。このように梁の長さを長くすることで梁のバネ性を弱め、また梁の幅を細くすることで空気の粘性抵抗を小さくすることで、低電圧駆動と数  $\mu\text{ s}$  レベルのスイッチング速度が達成できる。梁の材料としてヤング率  $77\text{ GPa}$  のアルミニウムを用いたとき、プルイン電圧は、梁を片持ちと

した場合は 0.25 V、両持ちとした場合は 1.72 V となった。

【0005】

しかし、このような細長い梁形状で顕著になる問題は、(1) 残留応力、(2) 熱膨張、(3) スティクションである。

【0006】

第一の残留応力の問題について述べる。微小な梁形成には、半導体プロセスを用いた薄膜構造や、薄い圧延材料の接合構造などが利用されるが、いずれの場合も梁内部の残留応力が問題となる。この残留応力には 2 種類があり、一つは梁の長さ方向への圧縮／引っ張り応力、もう一つは梁の厚み方向への応力勾配である。

【0007】

例えば図 11 の梁を両持ち梁とした場合、図中の x および y 方向に過度の圧縮応力が残留すると、y 方向の応力解放は梁形状に大きな変化はもたらさないが、梁端面の拘束を受けている x 方向に関しては、応力を解放しようとして座屈を起こし、静電力の印加とは無関係に梁は撓んでしまう。逆に引っ張り応力が残留する場合は見かけ上梁 1 に変化はないが、図 12 のグラフに示したように、残留引っ張り応力が大きくなるほどプルイン電圧が大きくなり、梁の駆動特性が著しく変化してしまう。すなわち、残留応力 0 で梁が生成されるのが理想であるが、梁の製造工程で内部応力を精度よく再現できないと、座屈やプルイン電圧のばらつきを招き、素子の品質が劣化する。なお、片持ち梁についてはこの種類の応力は解放されるので座屈やプルイン電圧のばらつきは生じない。

【0008】

しかし、図 11 の梁 1 を片持ち梁としたとき、z 方向、すなわち梁の厚み方向に応力勾配が存在すると、応力解放により梁が反り上がる。例えば梁内部に z 方向に沿ってプラスの応力勾配  $2 \text{ MPa} / \mu\text{m}$  が存在すると梁 1 の先端は約  $2 \mu\text{m}$  反り上がる。この応力勾配の値を梁の製造工程で精度よく再現できないと、この反りの度合いがばらつき、梁 1 と電極 2 間距離が増すことによる容量減少のばらつきとプルイン電圧増大のばらつきを抑えることができなくなる。例えば応力勾配 0 で反りのない場合のプルイン電圧が 0.25 V であるのに対して、先端が 2



$\mu\text{m}$  そり上がった状態でのプルイン電圧は 1. 2 V まで増大する。

【 0 0 0 9 】

この梁の長さ方向の圧縮・引っ張り応力や厚み方向の応力勾配を製造工程で制御するのは非常に難しい。製造工程における応力緩和方法として「やきなまし」があるが、素子を高温に晒すためにその温度は、素子を構成する梁以外の他の各種部材、例えば電極の金属や、梁を架橋構造にするために一時的に梁の下部に設けられ最終的にエッチングされる犠牲層材料などがその材料特性を変化させない温度にまで制限されるため、完全に応力を緩和することはできない。

【 0 0 1 0 】

第二の熱膨張の問題について述べる。素子の周辺温度の上昇により梁は長さ方向に熱膨張を起こすが、両端を拘束される両持ち梁構造では梁が座屈を起こし、静電力の印加とは無関係に梁は撓んでしまう。

【 0 0 1 1 】

第三のスティクションの問題について述べる。図 1 3 は図 1 1 の梁 1 を両持ち型としたときの構成で、残留応力をほぼ 0 とおさえた場合の電圧と容量の関係をあらわしている。電圧を加えると 1. 7 2 V でプルインを起こし、それ以上の電圧印加を行うと梁 1 と電極 2 は絶縁層 5 を介して接触し、接触面積を増加させて容量を増す。逆に電圧を下げていくと 0. 6 4 V まで電圧を降下させても梁と電極の接触は解消されない。これは梁のバネ性、すなわちバネの復元力が弱いことに起因する。このことは、電圧を 0 V に戻しても、接触領域において、雰囲気中の水分子を介した吸着力、またはわずかな残留電荷による吸着力、または van der Waals 力などが存在すると、梁は初期状態に戻れなくなる可能性が高いことを意味する。これを回避するには梁を電極から離す方向に強制的に梁を駆動する機構、例えば図 1 1 の梁 1 の上面を静電力で引き戻す電極を新たに設けるなど、複雑な構造をとる必要がある。

【 0 0 1 2 】

本発明は、このように低電圧・高速駆動が可能な機械的な可変容量素子において、簡易な構成で高品質の可変容量機能を具現し、例えば微小機械スイッチとして提供することを目的とする。

## 【 0 0 1 3 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は、可撓性を有する梁と、梁との間にコンデンサを形成するために梁に近接して設置された電極とから構成され、梁と電極間に電圧をかけて梁を静電力で撓ませることで両者間の静電容量を変化させることを特徴とする可変容量素子であり、撓ませた前記梁と電極とを、少なくとも一方の表面上に形成された絶縁層を介して接触させて接触面積を変化させることで静電容量を変化させることを特徴とし、前記電極が複数個に分割されていることを特徴とする。また、前記電極の一部が他の電極表面の高さよりも低い凹部を絶縁層に設け、凹部の前記梁と他の電極との間に電圧を加え、凹部内部に梁を引き寄せることにより、凹部の一部である段差発生部を支点とした梁の反対部位を電極から離す力を発生させることを特徴とする。したがって、梁を静電力により撓ませる電極を複数個に分割し、それぞれに梁先端を支持する機能、交流信号ラインとしての機能、ステイクションを解消する機能を付与することで、簡易な構成にて残留応力、熱膨張、ステイクションによる品質や性能の劣化を抑制することができる。

## 【 0 0 1 4 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図 1 から図 9 を用いて説明する。

## 【 0 0 1 5 】

## (実施の形態 1)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に関わる可変容量素子の概要図である。梁 1 はその一端をアンカー部 3 により基板 4 上に固定された片持ち梁であり、厚み  $t = 2 \mu m$ 、幅  $W = 2 \mu m$ 、長さ  $L = 500 \mu m$  である。ここでは梁の材料としてヤング率  $77 GPa$  のアルミニウムを用いている。電極 2 a、2 b は梁 1 の側面に平行に位置して基板 4 上に固定されている。電極 2 a の長さ  $l_a$  は約  $50 \mu m$ 、電極 2 b の長さは  $l_b$  は約  $450 \mu m$  となっており、梁 1 と電極 2 の電氣的短絡を避けるために、絶縁層 5 が電極 2 の梁との対向面上に  $0.1 \mu m$  ほど形成されている。ここでは梁 1 上面の高さ  $h_1$  よりも電極 2 の上面高さ  $h_2$  を高くしている。

## 【 0 0 1 6 】

梁 1 は片持ち梁であるため、x 方向、y 方向の引っ張り／圧縮応力や、z 方向への応力勾配を解放することができる。図 2 に応力解放後の実際の梁の形状を示す。z 方向への応力勾配は  $2 \text{ MPa} / \mu \text{m}$  ほど残留していたため、先端は約  $2 \mu \text{m}$  ほど z 方向に反り上がっている、電極 2 の高さはそれを充分補うだけの高さ  $h_2$  を有しているために、梁 1 と電極 2 間の対向面積は変化せず、従って静電容量の減少はない。図 2 のように梁 1 を接地、電極 2 に電圧を印加すると、梁は y 方向に引き寄せられて  $0.25 \text{ V}$  でプルインを起こし、 $0.20 \text{ V}$  に電圧を若干戻すことで図 3 の上面図に示すように梁先端部は電極 2 a 上に固定支持された状態となる。片持ち梁は外部振動の影響を受けやすいので、通常は図 3 の両端固定支持状態を維持し、必要に応じて電圧を解放して片持ち梁状態に戻して、熱膨張による内部応力の発生を緩和させるリフレッシュ動作を行うことができる。

## 【 0 0 1 7 】

もし図 1 で  $h_2$  を  $h_1$  と等しくすると、応力解放による梁 1 の z 方向への反りにより、梁 1 と電極 2 間の対向面積が減少し、プルイン電圧は  $0.42 \text{ V}$  と高くなってしまう。このことから  $h_2$  を  $h_1$  よりも高くすることでプルイン電圧の上昇を抑制する効果が得られることがわかる。

## 【 0 0 1 8 】

図 2 の構成では、梁 1 に静電力を加えて撓ませるための電極 2 を分割して、その一部である電極 2 b に入力ポート P i と出力ポート P o を設けた交流信号ラインとしての機能も持たせ、交流信号回路を形成している。図 2 の構成を単なるアクチュエータと考え、梁 1 に連結する可動部材を設けて、この可動部材で交流信号専用の可変容量部を形成することも可能であるが、構造が複雑となる上、梁 1 を含めた可動部材の質量が増えてしまうために動作速度、特にスイッチとして用いる場合のスイッチング速度が低下してしまうという問題がある。そのため、本発明の実施例では、図 2 のように、電極 2 の一部を交流信号ラインとして兼用する構造をとり、構成の簡素化を図り、高速スイッチングを達成している。

## 【 0 0 1 9 】

図 3 の状態からさらに電圧を加えると梁 1 と電極 2 b は絶縁層 5 を介して接触

面積を増やし静電容量は増加する。梁 1 と電極 2 b はシャント型のスイッチを形成しているため、図 4 のように電圧 3.8 V を印加した状態では、梁 1 と電極 2 の対向面積の 80 % が接触状態となり、P i - P o 間の交流伝送線路をシャントでゼロ電位に落とした状態を作ることができる。

## 【 0 0 2 0 】

図 3 の状態、すなわちシャントによる接地を行わない状態において、梁 1 と電極 2 b が近接している A 部近辺の容量が寄生容量として無視できない場合は、図 5 の構成をとることで解消することができる。ここでは電極 2 a を 2 b よりも梁 1 に近接させるとともに、電極 2 b を 2 b' と 2 b'' に分割し、交流信号は A 部より遠い位置にある電極 2 b'' を通過するようにする。図 5 の構成により梁 1 と電極 2 b との距離が離れるので寄生容量成分を抑制することができる。このとき電極 2 b' は梁を駆動する役割を担うために省くことはできない。

## 【 0 0 2 1 】

次に本実施例の概要図である図 1 を構成するために用いた製作工程を示す。図 6 は図 1 の A - A' 断面を用いた工程断面図である。高抵抗シリコン基板 9 上に熱酸化することで、シリコン酸化膜 10 を 300 nm の膜厚で形成する。その後、シリコン窒化膜 11 を減圧 CVD 法を用いて 200 nm の膜厚で堆積する。さらにシリコン酸化膜 12 を 50 nm の膜厚で減圧 CVD 法を用いて堆積する。図 6 a) 参照。

## 【 0 0 2 2 】

しかる後、シリコン酸化膜 12 にフォトリソグからなる犠牲層を膜厚 2  $\mu$  m でスピコート、露光、現像したのち、ホットプレートで 140℃ 10 分のベークを行うことで犠牲層 13 を形成する。図 6 b) 参照。

## 【 0 0 2 3 】

しかる後、図 6 c) に示すごとく、基板全面にアルミニウム 14 をスパッタにより 2  $\mu$  m の膜厚で堆積し、所定の領域にレジストが残るようにフォトリソグによるパターン 15 a の形成を行い、レジストパターン 15 a の貫通穴よりアルミニウム 14 の一部の高さをエッチングにより低くする。

## 【 0 0 2 4 】

次に図 6 d) に示すように再びフォトレジストによるパターン 1 5 b を形成する。

## 【 0 0 2 5 】

次に、前記フォトレジストからなるパターン 1 5 b をマスクとしてアルミニウムのドライエッチングを行うことで、梁 1 6 を形成し、さらに酸素プラズマによりフォトレジストからなるパターン 1 5 b ならびに犠牲層 1 3 を除去する。これにより基板表面と間隙 1 7 を有する梁が形成される。図 6 e) 参照。

## 【 0 0 2 6 】

さらに、図 6 f) に示すごとく全面にプラズマ CVD によりシリコン窒化膜 1 8 を膜厚 5 0 n m で堆積することで、基板表面のシリコン酸化膜 1 2 上ならびに梁 1 6 の周辺にシリコン窒化膜 1 8 が形成される。

## 【 0 0 2 7 】

最後に図 6 g) に示すようにシリコン窒化膜を異方性を有するドライエッチング法にて前記堆積膜厚以上の膜厚例えば 1 0 0 n m でシリコン酸化膜と選択比を有する条件でエッチバックすることで、上面にシリコン窒化膜がなく側面に窒化膜が残った梁 1 9 を形成し、梁上面から電氣的導通をとることができるようになる。

## 【 0 0 2 8 】

なお本実施の形態では基板に関して、高抵抗シリコン基板を用いたが、通常のシリコン基板、化合物半導体基板、絶縁材料基板を用いても良い。

## 【 0 0 2 9 】

また、高抵抗シリコン基板 9 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜 1 0、シリコン窒化膜 1 1、シリコン酸化膜 1 2 を形成したが、基板の抵抗が十分高い場合これら絶縁性膜の形成を省略しても良い。また、シリコン基板上にシリコン酸化膜 1 0、シリコン窒化膜 1 1、シリコン酸化膜 1 2 と 3 層構造の絶縁膜としたが、前記シリコン窒化膜 1 1 の膜厚が、梁上に堆積するシリコン窒化膜と比較して十分厚い膜厚、いわゆるエッチバック工程を経ても消失しない膜厚である場合、シリコン酸化膜 1 2 形成工程は省略することが可能である。

## 【 0 0 3 0 】

なお、本実施の形態では梁を形成する材料としてアルミニウムを用いたが、他の金属材料Mo、Ti、Au、Cu、ならびに高濃度に不純物導入された半導体材料例えばアモルファスシリコン、導電性を有する高分子材料などを用いても良い。さらに成膜方法としてスパッタを用いたがCVD法、メッキ法などを用いて形成しても良い。

#### 【0031】

##### （実施の形態2）

図7は図11の構成で梁1を両持ち梁とし、梁1を一度プルインにより絶縁層5に接触させた後に電圧を解除したが、スティクションにより梁中央部が絶縁層5から離脱できない状態を示している。これを解決する本発明の実施例を図8に示す。図8（a）はスティクションを起こしている梁1の中央部の拡大図であり、梁1は電極2上の絶縁層5に面接触している。この接触面には雰囲気中の水分子を介した吸着力や残留電荷による静電力やvan der Waals力などが作用している。電極2'は電極2よりも梁から離れて凹部を形成しており、梁との接触はない。ここで電極2'に電圧を印加すると図8（b）に示すように凹部に梁1を引きこみ、段差発生部Bを支点として梁1の電極2への付着を引き離す力を及ぼし、スティクションを解消することができる。図9は電極2、2'ともに表面は同一面内にあるが、絶縁層のみに凹部を設けている構造であり、同様にスティクション解消の効果を得ることができる。

#### 【0032】

なお、本実施例の可変容量素子を真空封止することで雰囲気中の水分子によるスティクションを低減することができるので、本実施例で示した構造のスティクション解消機能はさらに効果的になる。

#### 【0033】

##### 【発明の効果】

以上のように本発明によれば、電極を複数個に分割し、それぞれに梁先端を支持する機能、交流信号ラインとしての機能、スティクションを解消する機能を付与することで、簡易な構成にて残留応力、熱膨張、スティクションによる品質や性能の劣化を抑制することができるという効果を有する。これにより低電圧・高

速駆動が可能な小型・高品質の可変容量素子やこれを応用したRFスイッチの実現ができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施例における可変容量素子の外観図

【図 2】

梁内部応力の解放による梁の形状変化をあらわす図

【図 3】

第 1 の実施例において梁先端を静電力で支持した状態をあらわす上面図

【図 4】

第 1 の実施例において交流信号ラインにシャント型のスイッチを付与した状態をあらわす上面図

【図 5】

第 1 の実施例において信号ラインの寄生容量を減らす構造をあらわす上面図

【図 6】

第 1 の実施例における構成の薄膜作製技術による製作工程図

【図 7】

両持ち梁がスティクションを起こした状態をあらわす図

【図 8】

第 2 の実施例におけるスティクション解消構造の原理図

【図 9】

第 2 の実施例において絶縁層のみの段差で凹部を形成した構造をあらわす図

【図 1 0】

従来の可変容量構造を応用したマイクロ波スイッチの構造を示す図

【図 1 1】

従来の低電圧・高速動作が可能な可変容量構造を示す図

【図 1 2】

両持ち梁とした図 1 0 の構造において、梁内部の x、y 方向の内部残留応力とプルイン電圧の関係をあらわす図

【図 1 3】

残留応力がほぼ 0 の両持ち梁とした図 1 0 の構造において、印加電圧と容量変化の関係をあらわす図

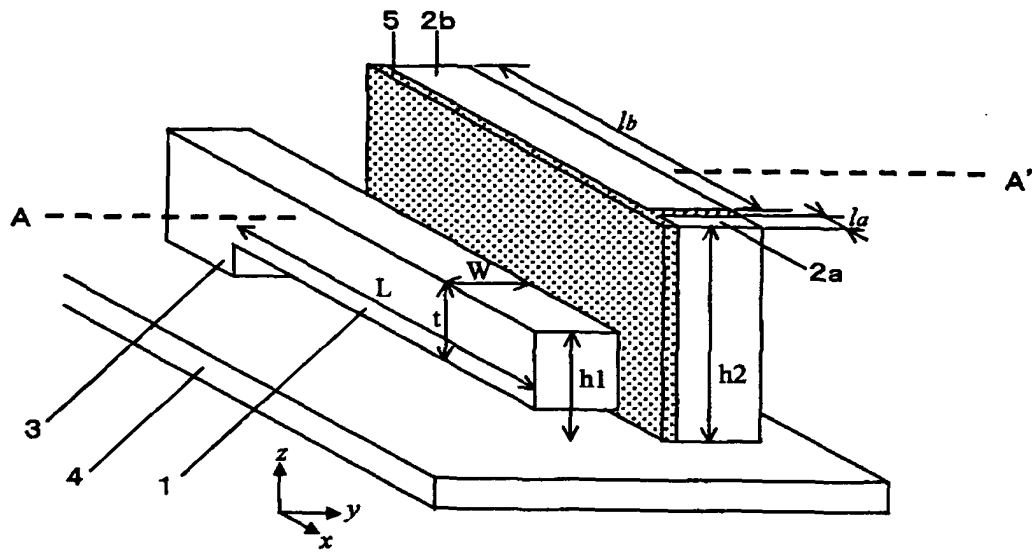
【符号の説明】

- 1 梁
- 2 電極
- 3 アンカー部
- 4 基板
- 5 絶縁層
- 6 接点部
- 7 回路端子部
- 8 駆動電極
- 9 シリコン基板
- 1 0 シリコン酸化膜
- 1 1 シリコン窒化膜
- 1 2 シリコン酸化膜
- 1 3 犠牲層
- 1 4 アルミニウム
- 1 5 レジストパターン
- 1 6 梁
- 1 7 梁－基板間の間隙
- 1 8 シリコン窒化膜
- 1 9 上面の窒化膜が除かれた梁

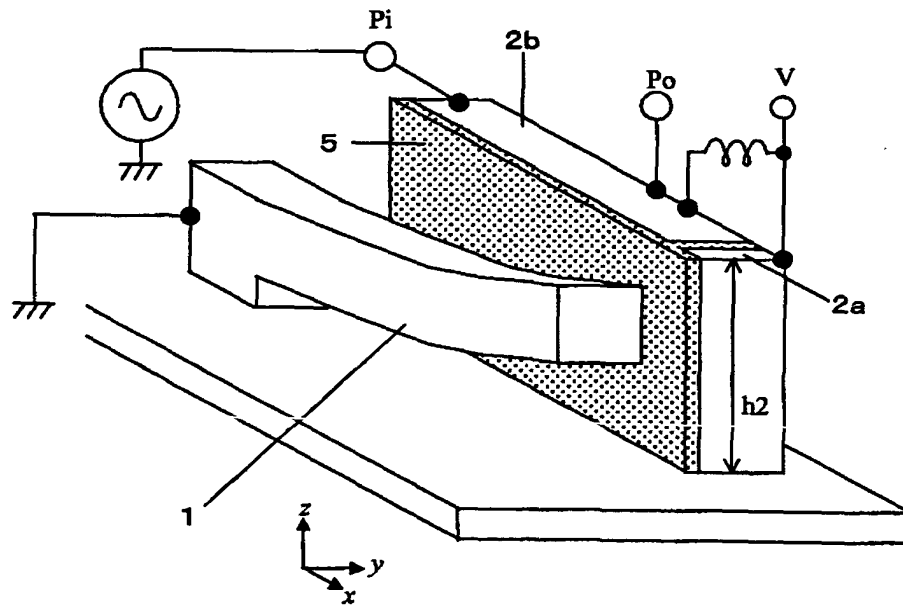


【書類名】 図面

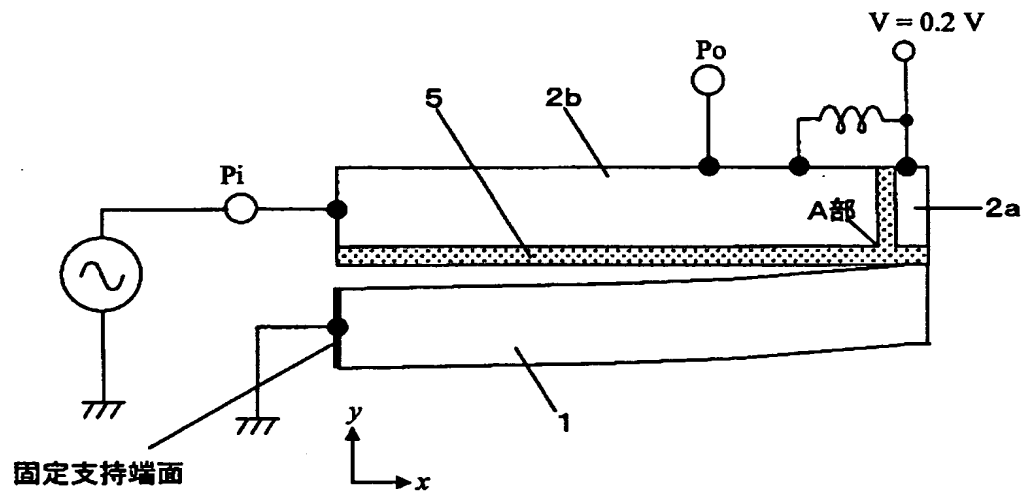
【図 1】



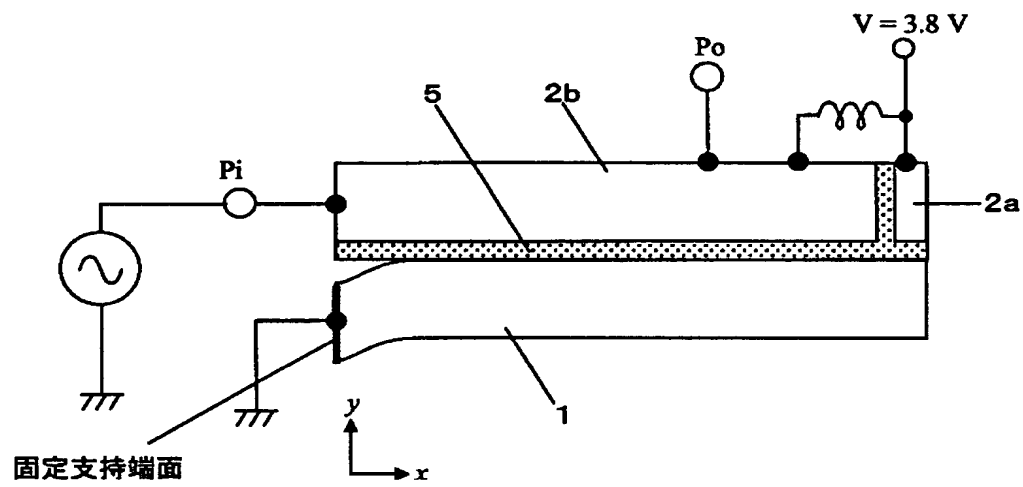
【図 2】



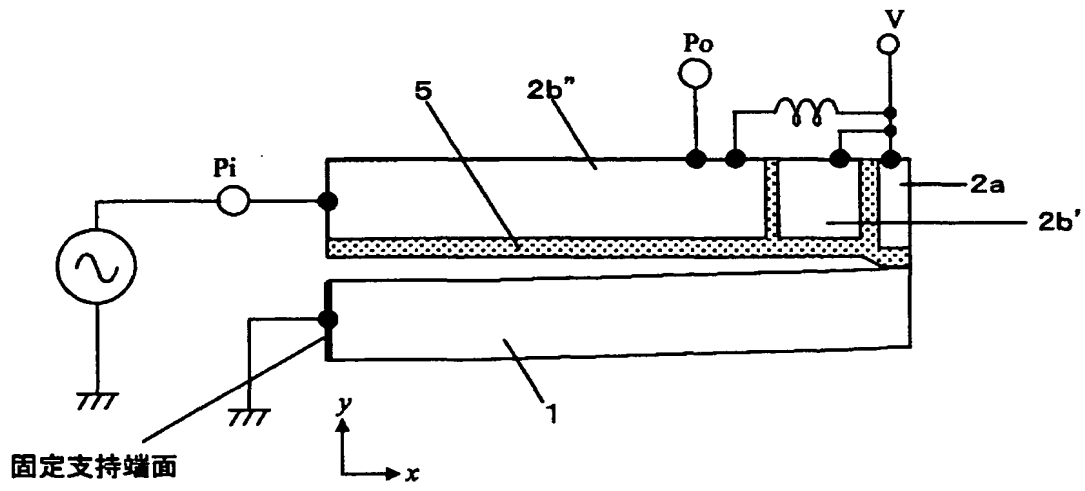
【図 3】



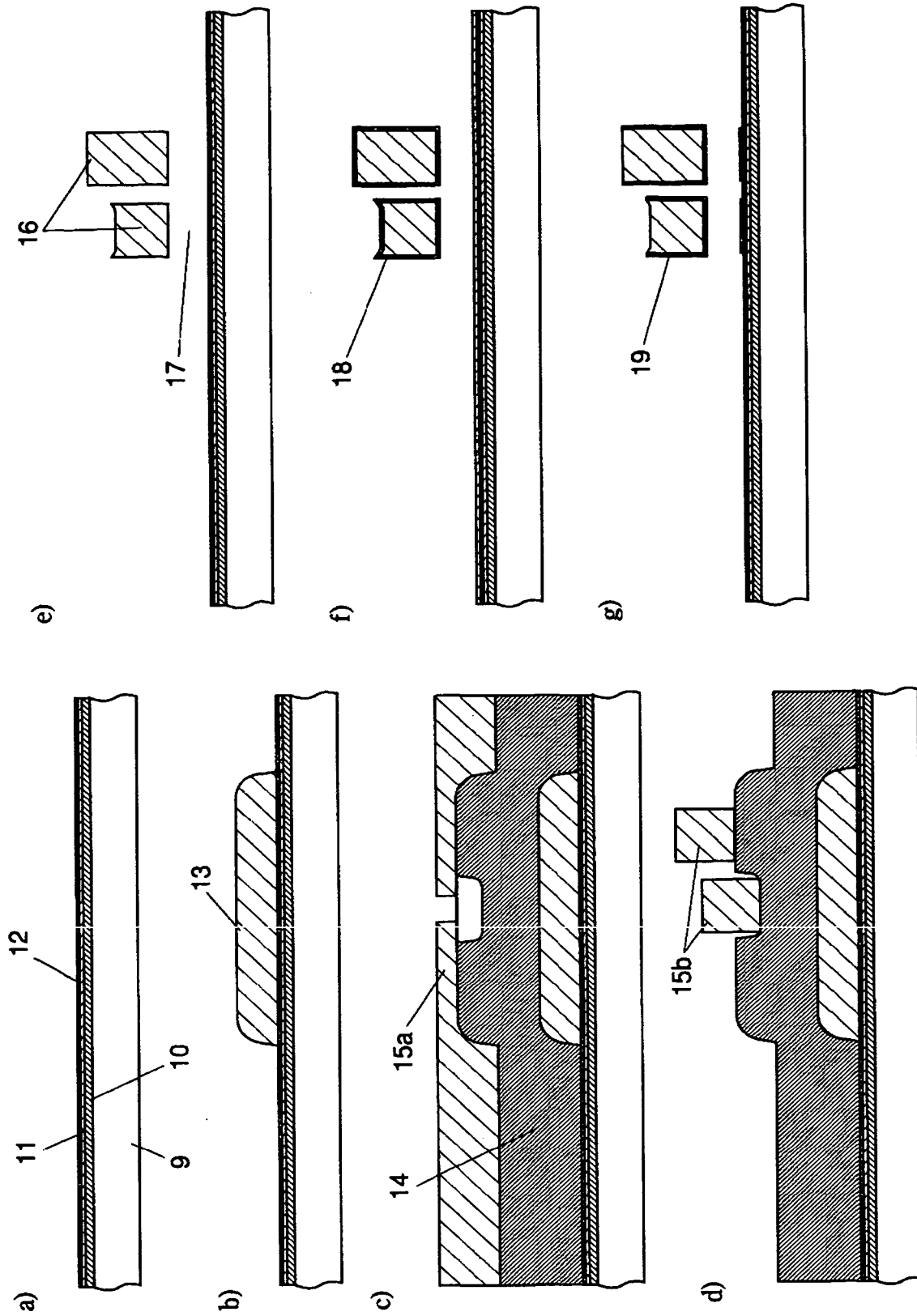
【図 4】



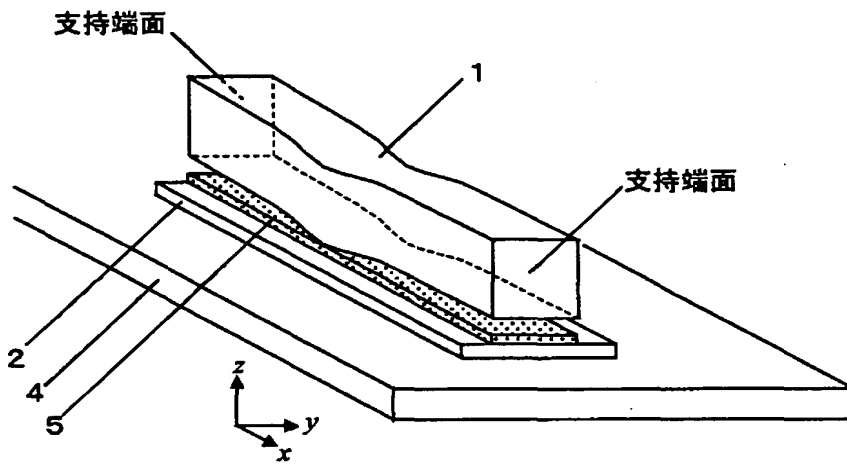
【図 5】



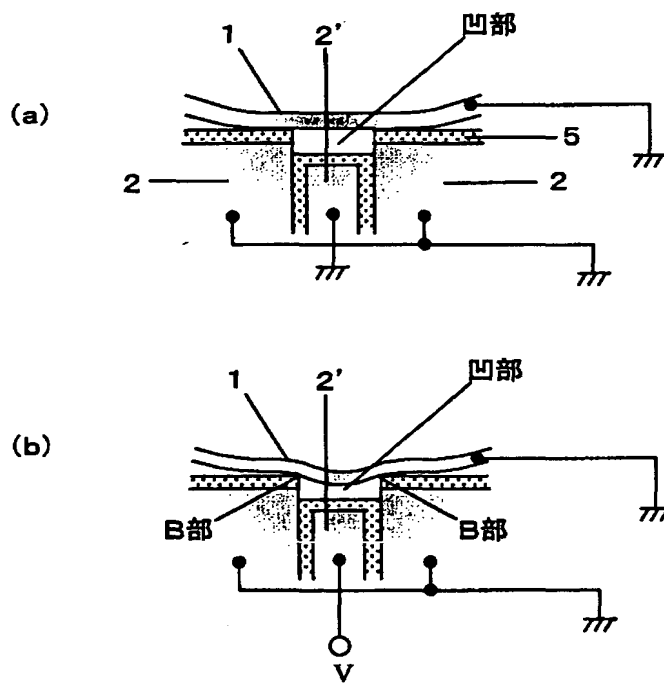
【図 6】



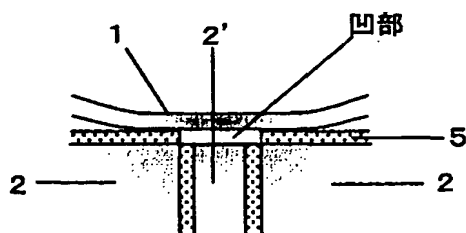
【図 7】



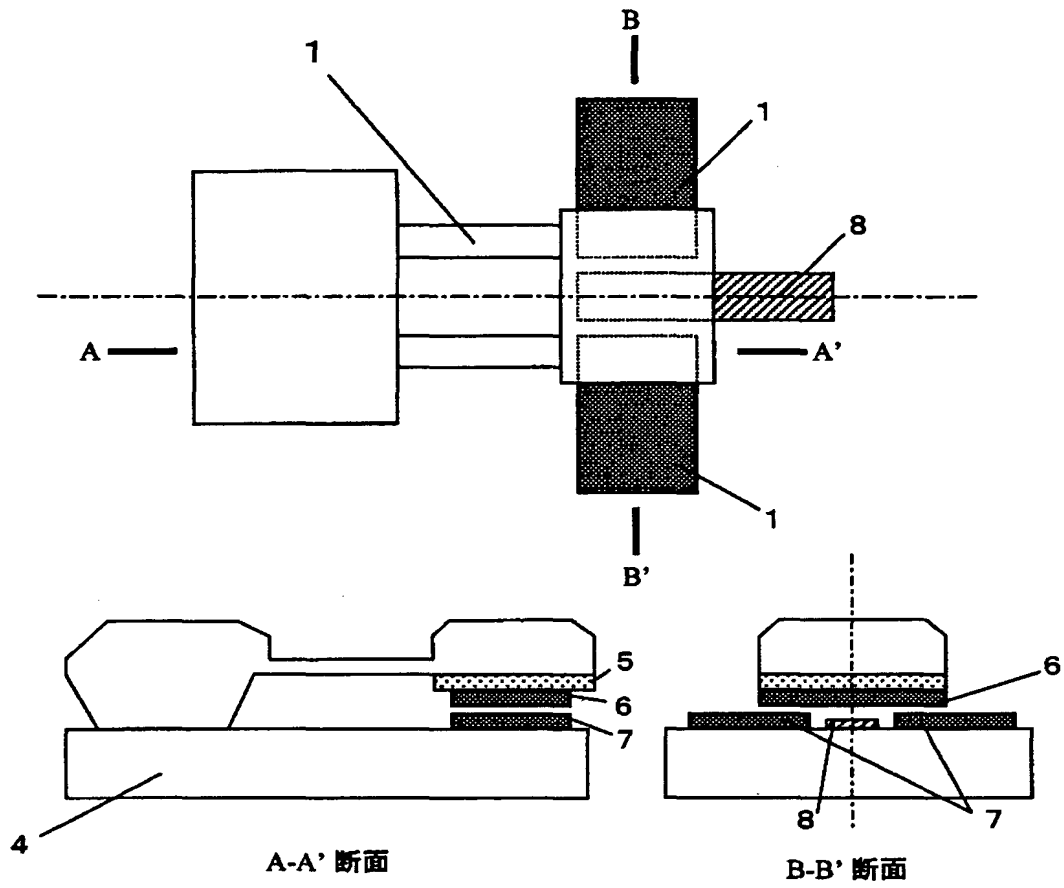
【図 8】



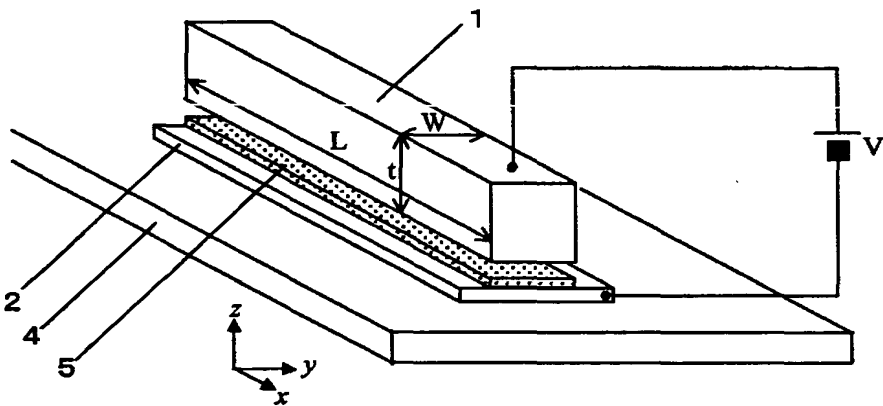
【図 9】



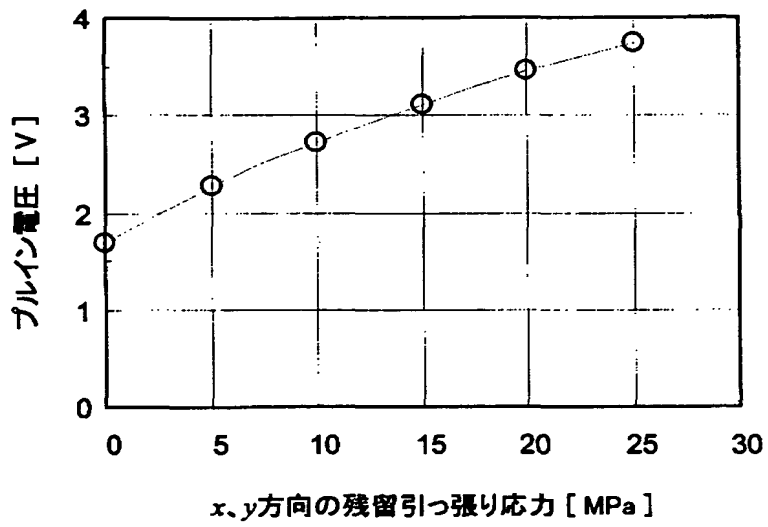
【図 10】



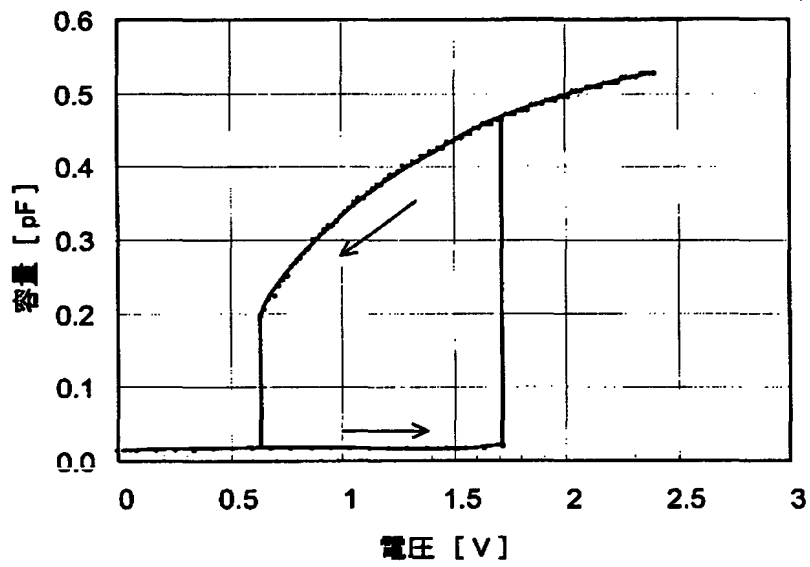
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は機械式の可変容量素子に関し、特に高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能、高品質の可変容量素子やスイッチを供することを目的とする。

【解決手段】 梁を静電力により撓ませる電極を複数個に分割し、それぞれに梁先端を支持する機能、交流信号ラインとしての機能、スティクションを解消する機能を付与することで、簡易な構成にて残留応力、熱膨張、スティクションによる品質や性能の劣化を抑制する。

【選択図】 図 2



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 8 2 1 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地
氏 名	松下電器産業株式会社